

# 太阳磁场望远镜光电导行系统

侯惠芳

(南京天文仪器厂)

韩峰 明长荣

(北京天文台)

## 一、引言

太阳磁场望远镜是一台对太阳黑子进行观测，并能获得实时信息处理的仪器。在作光电扫描观测时，它的视场是 $3' \times 4'$ ，其最小扫描方孔为 $2'' \times 2''$ ，用 $2'' \times 2''$ 的小方孔进行逐点扫描，最长观测时间为1小时取得一幅磁场的数据。若在观测时，跟踪精度不高，黑子群在被观测的视场内晃动，这在就测不到正确的数据。因而对望远镜跟踪提出较高的要求，要求导行精度在 $1'' \sim 2''$ 。望远镜是赤道式装架，用同步电机作恒速驱动，为使赤道式装架按黄道跟踪，并克服望远镜的变形和大气折射，用光电伺服系统进行进一步的补偿。这种自动导行系统用得较多的是按偏差控制的光电伺服系统。它是测量太阳象对光轴的偏差来校正望远镜的位置误差，是一个有差调节系统。

## 二、光电检测器

光电检测部分见图(1)。通过导星镜进入光电检测装置的太阳像直径为 $\phi 80^{\text{mm}}$ ，在太阳象边缘放置四个光导管(光敏电阻)，在它之前各有一个狭缝，两两互相垂直，分别代表赤经和赤纬两个坐标。当太阳象完全处于遮光板的正中央时，见图1(A)，四个光导管接收到相同的光通量，这时系统处于平衡状态。当太阳象发生偏移时，如图1(B)，四个光导管接收到的光通量彼此不相等。因而在赤经和赤纬分别输出不平衡的差动误差讯号，通过放大去驱动执行电动机。这里采用DG-74型硫化镉光导管，它的光谱响应峰值为 $5500\text{ \AA}$ ，而导星镜上采用绿色滤光片，其光谱响应在 $5324\text{ \AA}$ 左右。与DG-74型光导管的光谱响应峰值相接近。狭缝装在太阳径向方向，是用两片薄型刀片的刀口构成一个平行的狭缝。狭缝长度为 $6\text{mm}$ ，狭缝前光阑为 $\phi 4.5^{\text{mm}}$ 。DG-74型光导管的梳状电极图形如图(2)。每根电极线宽测得为

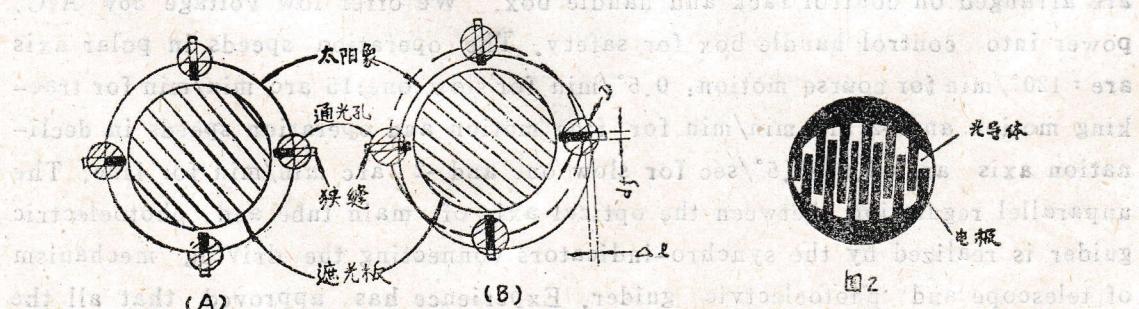


图 1

0.2mm，电极之间的光导体为0.1mm，共有12对“电极—光导体”。狭缝与光导体之间位置如何安放，对接收到的光通量信号与光电流之间是否成线性关系有关。

若狭缝与光导管电极如图3(A)所示，那么狭缝只能 $\leq 0.1\text{mm}$ ，很难保证对应的二个光导管的对称性。这对调整和固定带来一定的困难。

若狭缝与光导管如图3(B)所示，则太阳象移动的距离与光电流之间将会出现如图3(B)下面曲线所示的非线性关系。

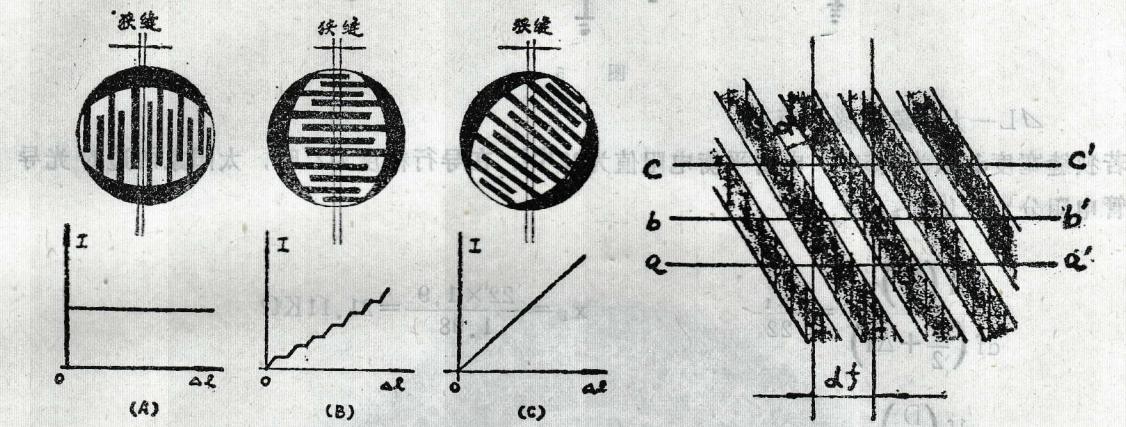


图 3

图 4

若狭缝与光导管的电极方向成某一 $\alpha$ 角，如图3(C)所示，对于某一确定的 $\alpha$ 角，可以求出最小的狭缝宽度 $d_f$ ，以使得太阳象移动时，光通量与光电流之变化成线性关系。最佳狭缝宽度应取 $d \geq d_f$ 。当 $d \geq d_f$ 时，我们把太阳象与狭缝相交的边缘视为垂直于狭缝的截线段，如图(4)所示。对应于任何一条 $aa'$ ,  $bb'$ ,  $cc'$ 线在光导体上的截线段都相等，因此太阳象在狭缝方向移动时，引起光电流的变化是线性的。在已知 $\alpha$ 夹角和电极—光导体的间距时，就可标出 $\alpha$ 与 $d_f$ 的相应值，见表1。为调试方便，我们取电极与狭缝之间的夹角为 $45^\circ$ ，相应的狭缝宽度 $d_f$ 取 $0.5\text{mm}$ 。

表 1

$\alpha$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$
$d_f$	$0.26\text{mm}$	$0.42\text{mm}$	$0.62\text{mm}$

光电检测部份的线路见图(5)。要求检测电桥有较高的灵敏度，较小的误差以及较高的抗干扰和不受环境温度的影响等性能。我们采用交流电桥。根据DG-74型管子给出的参数，估算当导行精度达到 $2''$ 时，电桥输出的不平衡电压。我们知道太阳象的张角为 $32' \approx 2000''$ ，太阳呈象直径为 $\phi 80\text{mm}$ ，对应 $2''$ 的移动距离是

$$\frac{80\text{mm}}{2000''} = \frac{\Delta L}{2''} \quad \Delta L = 80\mu\text{m} = 0.08\text{mm}$$

从图1中可以清楚地看出，太阳象偏移时，在一个方向的两只光导管受光面积也随之而改变。一只受光面积变大，另一只受光面积变小，它们的变化是相等的。此面积为：

$$s = d_f \times \left( \frac{D}{2} \pm \Delta L \right)$$

其中：  $d_f$  — 狹缝宽度  
 $D$  — 光导管受光面的直径为 $\phi 3.8\text{mm}$ ，

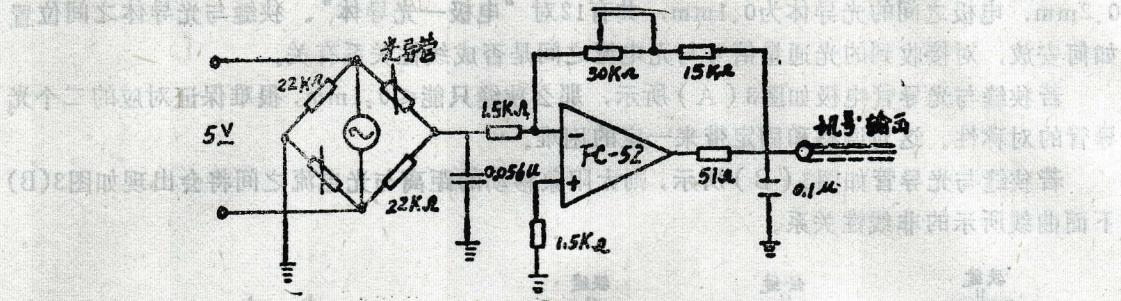


图 5

$\Delta L$ —太阳象偏移的距离。

若狭缝宽度  $d$  取为  $0.5^m$ ，电桥平衡电阻值为  $22\text{ k}\Omega$ ，在导行精度为  $2''$  时，太阳象两边的光导管电阻分别变化了：

$$\frac{df \left( \frac{D}{2} \right)}{df \left( \frac{D}{2} + \Delta l \right)} = \frac{x_1}{22} \quad x_1 = \frac{22 \times 1.9}{1.98} = 21.11 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{df \left( \frac{D}{2} \right)}{df \left( \frac{D}{2} - \Delta l \right)} = \frac{x_2}{22} \quad x_2 = \frac{22 \times 1.9}{1.82} = 22.96 \text{ k}\Omega$$

这时电桥输出的不平衡电压为：

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \times U_0 \\ &= \frac{22 \times 22 - 21.11 \times 22.96}{(22+21.11)(22+22.96)} \times 5 = -1.7 \text{ mV} \end{aligned}$$

从上面估算的值可见电桥的灵敏度是很高的。我们实测，当望远镜正常跟踪时，电桥输出电压约为  $1\text{ mV}$  左右，与上面估算值相接近。为了提高抗干扰能力，此电桥是装在导行镜接收端的光电屏蔽盒内，并有良好的接地。

### 三、放大级及执行元件

前置放大级由一只 FC52 线性组件组成的反相放大电路。因电桥输出的讯号较大，所以对前置放大级无特殊要求，线路图见图（5），这是曲型的反相比例放大电路。它的等效电路见图（6）。为了简化，把运算放大器当作理想放大器，引用零子和任意子的概念，便可得出理想闭环增益：

$$K = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_f}{R_i} \quad \text{图中 } R_f \text{ 称做反馈回路电阻, } R_i \text{ 称为输入回路电阻, } R_p \text{ 为补偿电阻。}$$

参数选择时应时  $R_p = R_f // R_f$ ，让放大器同相端与反相端的外接电阻相等，确保运算放大器处于对称平衡工作状态，以消除放大器的偏置电流及其漂移的影响。为了提高

闭环增益的动态精度，电路外接电阻的值也不宜选得太大。因为电阻值过高时，不采取一定措施，电阻精度不可能很高，影响电路的稳定性，一般宜在1—100kΩ之间选用。根据这些原则我们选用  $R_f = R_p = 1.5K\Omega$ ,  $R_s = 45K$  (可调)，放大器闭环增益在10—30之间可调。电路中分别在输入和输出端并接了一只  $0.1\mu F$  的电容，可有效地滤除高频干扰。这一级放大器装在导星镜末端的屏蔽盒中，通过14米长的屏蔽线接向电气控制柜的中间放大级电路。

### 中间放大级

中间放大级电路见图(7)。这一级采用双端输入差动线性放大电路。它消除了一般双端输入差动放大器由于两个输入端信号的放大系数不相等而带来的运算误差，这里反相端接前置放大器来的输入误差信号，同相端接测速负反馈来的信号，若二个信号不相等，则放大器对  $V_1$  和  $V_2$  作减法运算。其输出电压的变化由下式决定：

$$V_o = \frac{R_f}{R_1} (V_1 - V_2)$$

这一级放大倍数取10，在它的反相输入端对地并接了二只2CP型二极管用来限制大误差信号时的输入电压幅度。

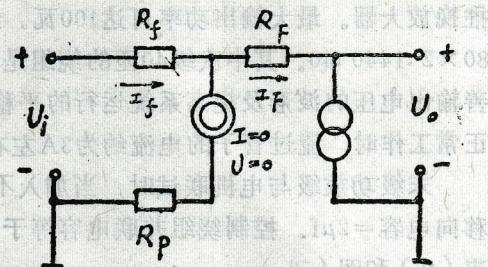


图 6

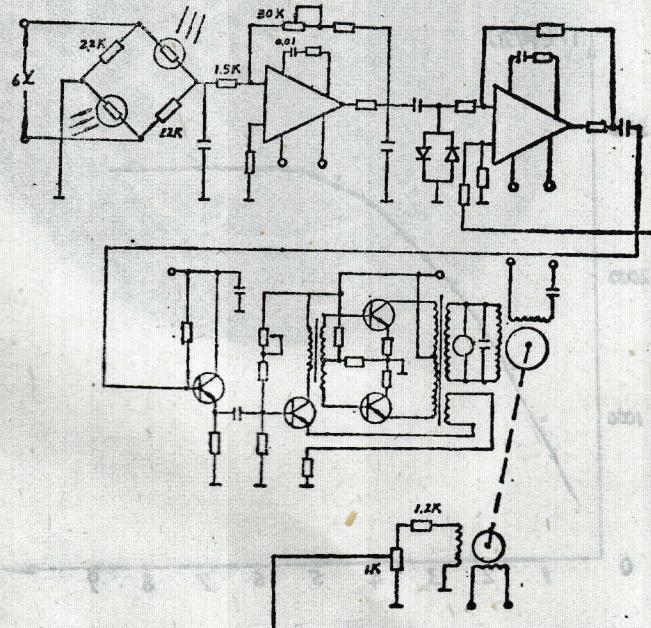


图 7

### 推动级及功放级

推动级由三极管3DG6和3DD4组成，见图(7)，3DG6组成的射极跟随器电路起到阻抗变换作用，并有较强的负载能力。3DD4组成的推动级是变压器输出级，它是利用晶体管收音

机的输入变压器把原边与付边反接接入电路中。末级放大用两只3DD8大功率管组成甲乙类推挽放大器。最大输出功率可达100瓦。经过计算和试验，输出变压器的初次级之匝比为： $80 \times 2 : 1440 : 40$ 。其中次级40匝的绕组是接到推动级3DD4管子的射极，作为局部负反馈，改善输出电压的波形及提高系统运行的平稳性。末级功放级用24V5A的直流稳压电源供电，系统正常工作时，流过管子的电流约为3A左右。

末级功放级与电机联试时，当加入不同的电压，电机对应不同的输出转速，这时的激磁移向电容=2μf。控制绕组并联电容等于1μf。电机正、反转与输入信号之间的关系及特性见表(2)和图(八)。

表 2

	输入信号(V)	8	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2
顺时针运转	电机转速(转/分)	2800	2800	2780	2740	2660	2560	2340	2160	1940	1680
	(V)	1.5	1.2	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.28	
	(转/分)	1320	1160	1000	880	780	660	570	400	180	
逆时针运转	输入信号(V)	8.5	7	6	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2
	电机转速(转/分)	2800	2800	2770	2740	2660	2550	2350	2150	1900	1670
	(V)	1.5	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.28		
	(转/分)	1380	960	860	760	660	570	500	150		

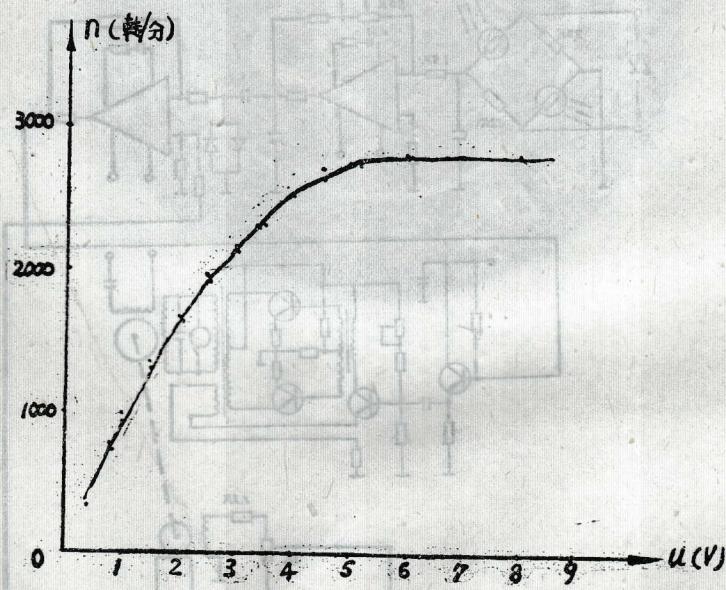


图 8

### 执行元件

系统的执行电动机采用南京微分电机厂生产的70SL5A2两相伺服电动机。其主要参数是：频率为50赫芝，励磁电压220V，控制电压220V，励磁电流0.3A，控制电流0.3A，输入功率 $2 \times 40$ 瓦，额定转矩900克·厘米，启动电压6V，额定转速1500转/分，转动惯量 $8 \times 10^{-2}$

克·厘米/秒<sup>2</sup>，时间常数0.013秒。这种电机一般用于两相电源，若使用单相电源时，激磁绕组要串并联电容。

#### 四、光电导行系统稳定性分析：

导行电动机轴与极轴的传速比  $i = 1500 \times 360 \times \frac{60}{2} = 16,200,000$  望远镜极轴的负载转动

惯量经估算约为  $5,000,000 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$ ，但由于要按  $\frac{1}{i^2}$  值折算到电动机轴上，因此负载轴惯量折算到电动机轴上的转动惯量接近于0。而与电机轴耦合的二只  $m=1$ ,  $Z=24$  的小齿轮、蜗杆轮系、联轴节等总的惯性，被近似认为与电机惯量相当，则系统的机电时间常数可算为二倍的电机机电时间常数，即0.026秒。

无测速反馈时的导行系统方框图如图(九)。简化成图(十)。这是一个二阶系统。其中无阻尼自然频率  $W_n = \sqrt{11.3} = 3.36$

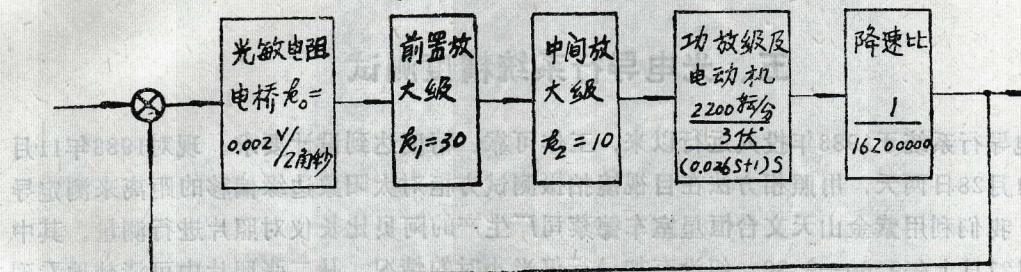


图 9

系统的阻尼比  $\zeta = \frac{38.5}{2 \times 3.36} = 5.73$ ，此值大于1。属过阻尼情况。对于单位阶跃输入时的时间响应近似为：

$$c(t) = 1 - e^{-\left(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\omega_{nt}} \\ = 1 - e^{-\left(5.73 - \sqrt{5.73^2 - 1}\right)3.36t} \\ = 1 - e^{-0.295t}$$

它的过渡过程曲线见图(十一)及表(3)。由过渡过程曲线可见，过阻尼系统，对任何输

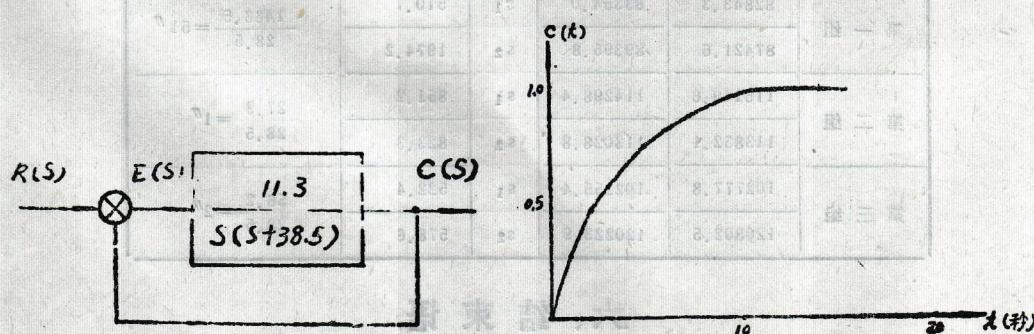


图 10

图 11

入信号的响应都是非常迟缓的。显然，这个系统是完全稳定的。造成过阻尼的主要原因是降速比选得太大。如果单纯从简化传动箱设计看，光电导行的最高速可以利用慢动速 $0.5^\circ/\text{分}$ ，使系统接近临界阻尼，提高系统对扰动的快速响应性，这对跟踪人造目标是尤为重要的。但对太阳这样的天体目标的跟踪，快速响应并不重要。保留微动速度，还便于观测调试。由于系统足够稳定，可以提高放大器的放大倍数以提高导行精度。

表 3 光电导行系统的响应数据

t (秒)	0	1	2	3	5	10	20
c (t)	0	0.256	0.446	0.587	0.771	0.948	0.997

本光电导行还具备测速反馈，测速反馈对系统性能的改善与比例加微分控制作用对系统性能的改善是相似的，这种改善都体现在增加特征方程阻尼项的系数，即加大系统的阻尼比。由于无测速反馈时的阻尼比已远大于临界阻尼比，因此加测速负反馈于光电导行系统中，其效果也就不甚明显了。

## 五、光电导行系统精度测试

光电导行系统于1983年投入运行以来，工作可靠、精度达到设计要求。现对1983年11月27日与11月28日两天，用照相方法在目视镜拍摄测试方框对太阳象边缘偏移的距离来测定导行精度。我们利用紫金山天文台恒星室车德蔡司厂生产的阿贝比长仪对照片进行测量。其中83年11月27日上午9:00—9:30一组没有加导行仅半小时的情况，从二张照片中可清楚地看到方框偏移了一段距离，这时导行精度为 $51''$ 。82年11月27日上午10:00—11:00拍摄的是加导行一小时的情况，从二张照片中基本上看不出偏移，这时导行精度为 $1''$ 。82年11月28日中午11:40一下午1:40拍摄的是导行2小时的情况，基本上也看不出偏移，这时导行精度接近 $2''$ 。精度测试与计算方法是从图中量得太阳象直径为 $\phi 55''$ ，在天文年历上查得1983年某天的太阳象张角为 $32' 30'' = 1950''$ ，经过计算 $1''$ 相当于移动 $28.5\mu\text{m}$ ，即 $\Delta s = 28.5\mu\text{m}$ ，在阿贝比长仪上对图十五中A及B点进行测量，然后进行计算，上述三组照片经过测算所得结果见表(4)。

表 4

	A	B	A-B		$s_1 - s_2 / \Delta s$
第一组	82843.3	83354.0	$s_1$	510.7	$\frac{1463.5}{28.5} = 51''$
	87421.6	89395.8	$s_2$	1974.2	
第二组	115149.6	114298.4	$s_1$	851.2	$\frac{27.9}{28.5} = 1''$
	113852.1	113028.8	$s_2$	823.3	
第三组	102777.8	102255.4	$s_1$	522.4	$\frac{56.2}{28.5} = 2''$
	120802.5	120223.9	$s_2$	578.6	

## 六、结束语

过去认为用于太阳望远镜光电导行系统的光电检测装置其狭缝都是与太阳象边缘相切安

放的，导行精度与狭缝宽度有关，当导行精度要求高时，狭缝变得相当窄，同时一年四季太阳象直径是在不断变化的，张角变化约 $1'$ 左右，因而四个狭缝之间的距离也要作相应的调整，使用调整麻烦。另外大气抖动引起边缘的抖动，经常会跳出狭缝的范围，因此影响导行精度。我们现在把狭缝取成经向放置，太阳象的大小变化可以不用考虑，大气抖动的影响也被平滑。光电导行电路于1983年初调试完毕，投入运行，经过一年的考验，电路工作稳定，精度达到设计要求。此项工作北京天文台胡岳风、艾国祥同志参加了调试，并进行了有益的讨论，在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- (1) 缪方胜彦著 现代控制工程
- (2) R.H. Weitbrecht Continuous Balance Photoelectric Guider, The Review of scientific Instruments, Feb. 1957
- (3) W.O. Roberts, Photoelectric sight for solar Telescope, Electronics, June, 1946

## PHOTOELECTRIC GUIDE SYSTEM IN THE SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

Hou Hui Fang

(Nanjing Astronomical Instruments Factory)

Ming Chang Rong Han Feng

(Beijing Astronomical Observatory)

### Abstract

A photoelectric guide system in the solar magnetic fields telescope makes use of two pairs of photoconductors as its sensors. The diameter of the solar smage which pass through the guider tube and projected on the photo-detector is 80mm. 4 slits with a width of 0.2mm are in front of 4 photoconductors respectively. They are located around the edge of the image and are aligned in two perpendicular directions. One pairs of photoconductors are for right ascension and another pairs for declination. When the solar image is at the centre of the screen plate the servo system is in case of balanicing for all 4 photoconductors getting equal photoflux. If the solar image moves away from the center of interrupted screen plate, each photoconductor will get unequal photoflux. The unbalanced differential error signals on both right ascension and declination are amplified and control the correspondent motors. These slits are arranged radially. Each one is composed of 2 sharp razors to form a parallel slit which has a length of 6mm. The diameter of the aperture in front of the slit is 4.5mm.

\* Two-phase A.C. servomotor is used for executive motor. This servo system belongs to over-damping system because of its very large speed reducer. It results slow response time to any input signal. It is evident that system is complete stable. This system effers tachogenerator feedback. The effect of tachogenerator feedback in photoelectric servo system is not so obvious because the damping ratio is more greater than critical damping ratio.

By traditional method the slits of photoelectric detector is used to settle tangency with edge of solar image. The guide accuracy is dependent on the width of slit. Higher accuracy needs more narrow slit. It will get trouble since the diameter of solar image varies according to all seasons. Now we settle the slit radially, so the user needn't consider the variation of solar image. The effect of seeing is also filtered out.

The photoelectric guider had been tested at the beginning of 1983, and put it into operation. The fact shows the performance of the guide is good and the guide accuracy is better than 2 arcseconds.

#### SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

such full coll.

1039100